Strahlenbelastung bei der Mammographie

Messungen am Phantom und an Patientinnen

von

Klaus Kupka

aus

Parschnitz

Literaturverzeichnis

Gershon-Cohen, J.
Ingleby, H.
Berger, S.M.
Forman, M.
Curcio, B.M.
Mammographic Screening for Breast Cancer, Radiology 88, (1967) 663

Griesbach, W.A.
Screening for Breast Carcinoma, Mammography Symp., San Francisco, 1968, Oncology 23, (1969) 167

Lanyi, M.
Laszlo, Gy.
Forkas, M.
Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuclearmedizin, Thieme Verlag, Stuttgart, Band 112 (1970) 18

Maas, H.
Symptomatik und klinische Diagnostik der Brustdrüsentumoren, diagnostik 4, Heft 11, (1971) 460

Muller
zitiert nach
Rajewsky, B., Strahlendosis und Strahlenwirkung, Thieme Verlag, Stuttgart, 1956

Rajewsky, B.
Strahlendosis und Strahlenwirkung, Thieme Verlag, Stuttgart, 1956

Sachs, H.
Maas, H.
Zur Epidemiologie des Brustdrüsenkarzinoms der Frau, Deutsche Medizinische Wochenschrift, Thieme Verlag, Stuttgart, 96. Jahrgang, Nr. 44 1701

Scherer, E.
Strahlentherapie, Thieme Verlag, Stuttgart, 1967

Scherer, E.
Seifert, J.
Die Bedeutung der Mammographie als Reihenuntersuchung in der Tumorvorsorge, Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuclearmedizin, 109 (1968) 766

Shapiro, S.
Strax, P.
Venet, L.
Periodic Breast Cancer Screening in Reducing Mortality from Breast Cancer. I. Amer. med. Ass. 215: 1777 (1971)

Stevens, G.M.
Regelmäßige Mammographiekontrolle zur Auffindung okkulter Carcinome, Palo Alto Kalif., Oncology 23, (1969) 172

Wachsmann, F.
Kallert, S.
Strahlentherapeutische Dosimetrie, Sonderdruck aus Handbuch der Medizinischen Radiologie, Band XVI/1, S. 585, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1970

Witt, H.
Die Mammographie in der Früh- und Differentialdiagnose der Mammatumorendiagnostik 4, Heft 11 (1971) 457

festgestellt.
Die bei einer Mammographieaufnahme ohne Verwendung eines Kompressionstubus am Phantom und bei Patientinnen auftretende Belastung einzelner Oberflächenpartien lag bei maximal 10 R (Dicke der durchstrahlten Masse z.T. über 12 cm). Die gemessene Dosis in der Gegend der Gonaden betrug bei kraniokaudaler Aufnahmerichtung je nach Spannung zwischen 0,01 - 0,015 mR pro Aufnahme. Die gemessene Augendosis belief sich je nach Spannung und Aufnahmerichtung sowie Lage der Augenpartie zur Röntgenröhre auf 0,4 mR bis 0,5 mR.

Die gemessenen Werte lassen routinemäßige Vorsorgeuntersuchungen auch bei Frauen im fortpflanungsfähigen Alter als unbedenklich erscheinen.

UNIV. LEIDEN BIBL.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548408_0041

Aus der Strahlenabteilung
(Leiter: Professor Dr. J. Weishaar)
der Universitätsfrauenklinik Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. K. G. Ober

Strahlenbelastung bei der Mammographie

Messungen am Phantom und an Patientinnen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Klaus Kupka
aus
Parschnitz

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. med., Dr. phil. nat. H. Pauly
Referent: Professor Dr. med. J. Weishaar
Korreferent: Professor Dr. med. K.G. Ober

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Januar 1973

INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

II. METHODIK

1. Aufnahmevorrichtung

2. Phantom

3. Dosismessung und Auswahl der Meßkammern

4. Zur Frage der Messung der Dosis in Höhe der Gonaden und Augen

5. Meßaufbau am Phantom

III. MESSERGEBNISSE

1. Am Phantom

2. "Gonadendosis" und "Augendosis"

3. Schichtdickenabhängigkeit (Plexiglasphantom)

4. Meßergebnisse an Patientinnen.

IV. DISKUSSION

V. ZUSAMMENFASSUNG

VI. LITERATUR

I. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Das Mammakarzinom der Frau ist in den U.S.A. und mehreren Ländern Europas der häufigste maligne Tumor der Frau (SACHS, MAAS und WITT). In der Todesursachenstatistik der Krebssterbefälle steht es hinter dem Magenkarzinom (19,6 %) und den Genitaltumoren (19,3 %) mit 11,6 % an dritter Stelle in der Bundesrepublik (SCHERER).

Den Frauen über dreissig wird immer wieder geraten, ihre Brust einmal im Monat selbst auf sichtbare oder tastbare Veränderungen zu untersuchen und etwa jährlich eine ärztliche Untersuchung machen zu lassen. Heute gibt es Untersuchungsverfahren, wie Mammo-, Galakto- und Thermographien, durch die Krebs unter Umständen erkannt werden kann, bevor tastbare oder sichtbare Veränderungen auftreten.

Die Röntgenuntersuchung der Mamma, insbesondere mit der Weichstrahltechnik, hat sich als eine ausgezeichnete Methode bewährt. Sie kann Inspektion und Palpation der Brustdrüse ergänzen und vermag in vielen Fällen wichtige Informationen zu liefern (GRIESBACH). Bei prophylaktisch durchgeführten Mammographien wurden z.B. bei einer Reihenuntersuchung von 1080 Frauen fünf klinisch okkulte Brustkrebse entdeckt (SCHERER und SEIFERT).

SHAPIRO berichtet, daß unter 100 diagnostizierten Mammakarzinomen 27 % allein durch die klinische, 28 % ausschließlich durch die mammographische und 66 % durch die Kombination beider Untersuchungen gefunden werden konnten. Diese Prozentzahlen wurden in einer Fünfjahresstudie in New York an 31000 Frauen, die sich einem Screening-Programm verpflichteten, bestätigt oder erweitert. 70 % der durch Screening erfaßten Frauen mit Brustkrebs waren ohne axillären Lymphknotenbefall. Zeigten jedoch Mammographie und klinische Untersuchungen einen pathologischen Befund, so waren nur 48 % der Frauen ohne Lymphknotenmetastasen. Diese Ergebnisse veranlassen zu Überlegungen, ob

in Zukunft bei allen gynäkologischen Krebsvorsorgeuntersuchungen auch eine systematische Röntgenuntersuchung der Brust zu fordern ist. Damit ergäbe sich, vor allem wenn die Routineuntersuchungen schon bei noch relativ jungen Patientinnen erfolgen sollten, die Frage nach der Strahlenbelastung.

II. METHODIK

1. Aufnahmevorrichtung

Bei den Versuchen wurde mit einer Mammographie-Röntgenröhre Rotalix 125/20/50 M mit dünngeschliffenem Strahlenaustrittsfenster gearbeitet (mit 0,8 mm Al Eigenfilter). Es wurde ein Fokus von 1,2 x 1,2 mm verwendet.

Durch eine asymmetrische Anordnung der Tubusöffnung kommt es bei den Aufnahmen zu einem thoraxwandnahen Verlauf des Zentralstrahls und damit zu einer guten Abbildungsmöglichkeit auch der thoraxnahen Bereiche. Die Tubusöffnung ist so bemessen, daß bei einem Fokus-Film-Abstand von 75 cm ein Feld von 18 cm x 24 cm ausgeleuchtet wird. Die Mammographieeinrichtung ist ausgestattet mit einer Belichtungsautomatik (Amplimat). Es sind dann entsprechend des Objektes jeweils nur die kV-Zahl und die gewünschte Schwärzungsstufe einzustellen.

Eine Auflageplatte dient zur Auflage von Film und Objekt. Zur Verhinderung von Rückstreuungen ist sie mit 0,5 mm Blei belegt. An der einen Seite am Rand der Auflageplatte befindet sich in einer Aussparung die Meßkammer für die Belichtungsautomatik. Die Auflageplatte ist geeignet für die Verwendung von Filmen bis zu einer Größe von 18 cm x 24 cm. Für die Versuchsmessungen wurden folienlose Filme (Osray M) in Kunststoffkassetten verwendet. Die Entwicklung der Filme erfolgte maschinell (3 1/2 Minuten Verarbeitungszeit).

2. Phantom

Die Versuchsmessungen wurden an einem Alderson-Rondo-Man.-Phantom (Alderson Res.Ind.Standard, Conn.) durchgeführt, in das ein Skelett eingearbeitet ist. Es ist dem menschlichen Körper hinsichtlich der Absorption der Röntgenstrahlen äquivalent.

3. Dosismessung und Auswahl der Meßkammern

Die Auswahl des Dosimeters erfolgte einmal unter Berücksichtigung der niederen effektiven Energie der verwendeten Strahlung, zum anderen unter Berücksichtigung der hohen Dosisleistung bei einer Aufnahme. Die Abbildung 1 zeigt die erhebliche Energieabhängigkeit üblicher Ionisationskammern, besonders im niedrigen Energiebereich. Das bedeutet, es muß bei üblichen ungeeichten Meßkammern mit einem Fehler von $\pm$ 1000 % bei der in der Mammographie verwendeten Strahlung, von 25 bis 35 kV, gerechnet werden. Deswegen war von Anfang an klar, daß die nötigen Meßkammern entweder weitgehend energieunabhängig sein müssen, oder bei dieser Strahlungsqualität unter den Bedingungen der Mammographie mit einer geeichten Kammer verglichen werden müssen.

Zur Dosismessung wurde ein Kondiometer (Physikalisch-Technische Werkstätten, Freiburg) benutzt. Die dazugehörigen Kondensatorkammern, wie sie bei diesem Versuch verwendet wurden, bestehen aus einem Graphitgehäuse und der durch Bernstein isolierten Mittelelektrode. Diese Elektrode wird gegen das Gehäuse auf eine bestimmte Spannung aufgeladen. Ionisierende Strahlung macht die Luft in der Kammer leitend und bewirkt eine Verringerung der Spannung zwischen Mittelelektrode und Kammergehäuse. Dieser Spannungsverlust ist proportional der eingestrahlten Dosis und wird mit dem Kondiometer gemessen. Das Kondiometer ist so eingerichtet, daß die Kondensatorkammer mit drei verschieden hohen Spannungen aufgeladen werden kann. Dadurch bietet sich der Vorteil, stets

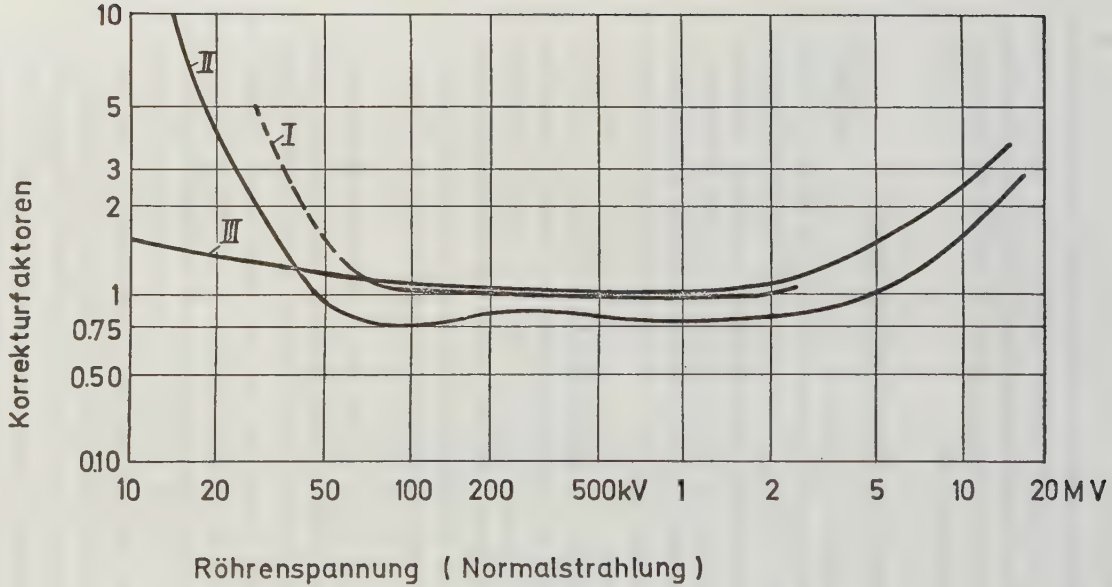


Abb. 1

Energieabhängigkeit üblicher Ionisationskammern

mit dem günstigsten Empfindlichkeitsbereich messen zu können.

Zur Eichung wurden die Kondiometerkammern mit einer von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt kalibrierten Phantomkammer zum Siemens-Dosimeter verglichen. Beide Kammern, Phantomkammer und Kondiometerkammer, waren beim Vergleich bis zur Hälfte in einen Plexiglasblock eingebettet, so daß in beiden Fällen die Oberflächendosis, d.h. Einfallsdosis mit Rückstreuung, gemessen wurde. Die Kammern wurden, möglichst eng beieinander, in der Mitte des Strahlenbündels angeordnet.

Um zu sicher auswertbaren Ausschlägen an dem Ablesegerät zu kommen, wurden jeweils fünf Belichtungen durchgeführt und dann die Dosis ermittelt. Dieser Versuch wurde mehrmals wiederholt. Außerdem wurden die Kammern an den einzelnen Meßpunkten im Strahlengang ausgetauscht, um eventuelle systematische Fehler, bedingt durch die Bestrahlungsasymmetrie, auszuschalten. Geeicht wurden die Kondiometerkammern bei 25 und 29 kV. Der Eichfaktor ergibt sich aus der Beziehung

$$\text{Dosis} = \text{Ablesewert am Kondiometer} \times \text{Eichfaktor}$$

(Die Dosis wurde dabei gewonnen aus dem abgelesenen Wert am Siemens-Dosimeter multipliziert mit dem von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt für diese Strahlenqualität angegebenen Korrekturfaktor.)
Der so ermittelte Eichfaktor betrug bei

$$25 \text{ kV } (0{,}210 \pm 0{,}004) \quad \frac{R}{\text{Skalenteile}}$$

und bei

$$29 \text{ kV } (0{,}18 \pm 0{,}01) \quad \frac{R}{\text{Skalenteile}}$$

Die Energieabhängigkeit der verwendeten Kammern zeigte sich bereits beim Übergang von einer Erzeugungsspannung von 25 kV auf 29 kV; bei dieser Änderung der Strahlenqualität erniedrigte sich der Faktor schon um 15 %. Die Änderung erschien, zumindest in ihrer Richtung, tolera-

bel. Bei Verringerung der Strahlenenergie nahm der Eichfaktor zu, weil ein noch größerer Teil der Strahlung in der Kammerwand absorbiert wurde.

Um die Linearität der Anzeige am Kondiometer zu prüfen, wurde die Kammer am Gammatron mit verschiedenen Dosen bestrahlt. Das Ergebnis zeigt die Abbildung 2. Solange sich die Messungen im Bereich von 0 bis 15,5 Skalenteilen bewegen, ist die Anzeige proportional der Dosis.

4. Zur Frage der Messung der Dosis in Höhe der Gonaden und Augen

Zur Messung der Gonaden- und auch Augendosis erwiesen sich die oben beschriebenen Kondiometerkammern als viel zu unempfindlich, denn die Gonadendosis pro Aufnahme wird schätzungsweise um den Faktor 10^6 kleiner sein als die Einfallsdosis an der Mamma. Deswegen wurde zur Messung der Gonadendosis das Dosimeter der Elektronic Inst.Ltd., Modell 37 A, gewählt. Dieses Dosimeter zeigt über einen großen Energiebereich eine relativ kleine Energieabhängigkeit. Bei den orientierenden Messungen an den Gonaden und Augen ist bei 25 und 29 kV mit einem Fehler von etwa 50 % zu rechnen. Die kleinste am Instrument abzulesende Dosis beträgt 1 μ R.

Zur Messung der Gonaden- bzw. Augendosis wurde die Kammer des Dosimeters einmal unterhalb einer der Symphyse entsprechenden Stelle des Phantoms und zum anderen auf dem linken, oberen Augenlid angelegt. Die Anordnung des Phantoms zum Tisch war die gleiche, wie im Kapitel "Meßergebnisse" beschrieben wird. Ein zusätzlicher Gonadenschutz wurde nicht verwendet. Zwischen dem Dosimeter zur Messung der Gonadendosis und dem Amplimat befand sich lediglich die auf die Lagerungsplatte aufgelegte Bleischicht. Durch die Bleischicht auf der Lagerungs-

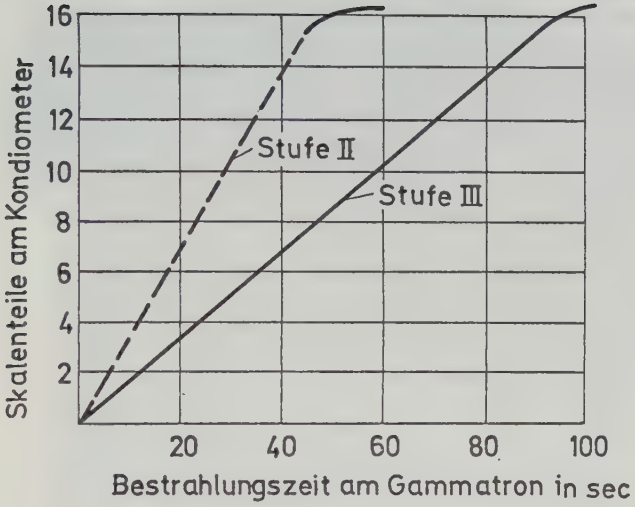


Abb. 2

Prüfung der Linearität
(eine Sekunde entspricht unter den Versuchs-
bedingungen etwa 0.05 R)
Stufe II und III bedeuten, daes die Kondensatorkammern
mit 2 verschieden hohen Spannungen aufgeladen wurden.

platte wurde die Strahlung völlig absorbiert, wie Röntgenaufnahmen zeigten.

5. Messaufbau am Phantom

Die Messung erfolgte an einer an der Basis fast runden Mamma mit einem Durchmesser von 13,5 cm und einer Höhe von 8,5 cm (ohne Mamille). Gemessen wurde bei 25 kV und 29 kV jeweils bei gleichem Tubus.

Um immer die gleichen Befestigungspunkte für die Kondensatorkammern zu haben, wurde die Mamma in ein Koordinatensystem unterteilt, dessen Nullpunkt genau in der Mamille lag. Die Achsen wurden in alle vier Richtungen unterteilt. Der Abstand der Bezugspunkte betrug 4 cm. Durch diese Einteilung und genaues Anlegen des Tubus an festgelegten Markierungen schien ein optimaler Vergleich der einzelnen Dosen aus den verschiedenen Messungen gewährleistet (siehe Abb. 3).

Bei den ersten Versuchen erfolgten Messungen zwischen den vorbezeichneten Punkten. Da die Abweichungen der einzelnen Messungen gering waren, begnügte man sich später mit Messungen an den bezeichneten Punkten. An jedem Punkt wurden 5 Messungen durchgeführt. Von diesen fünf Messungen wurde dann der Mittelwert als Dosis angegeben.

Zur kraniokaudalen Aufnahme wurde das Phantom an einen Tisch herangefahren. Auf die Lagerungsplatte wurde die künstliche Mamma gelegt. Sodann wurde mit dem senkrecht an der Röntgenröhre stehenden Tubus herangefahren. Bei der Profilaufnahme mußte das Phantom auf den Tisch gelegt werden; dadurch wurde das Heranfahren und exakte Anlegen des Tubus erschwert, da das Phantom unbeweglich und nicht verformbar ist.

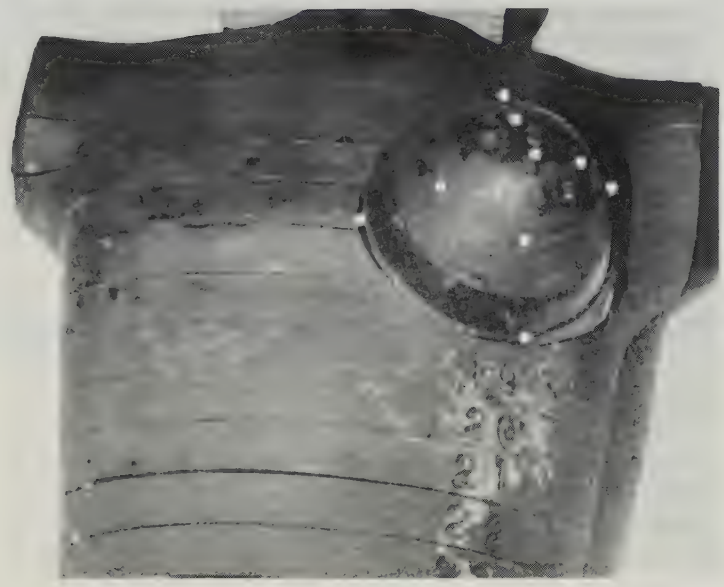


Abb. 3

Lage der Messpunkte am Phantom

III. MESSERGEBNISSE

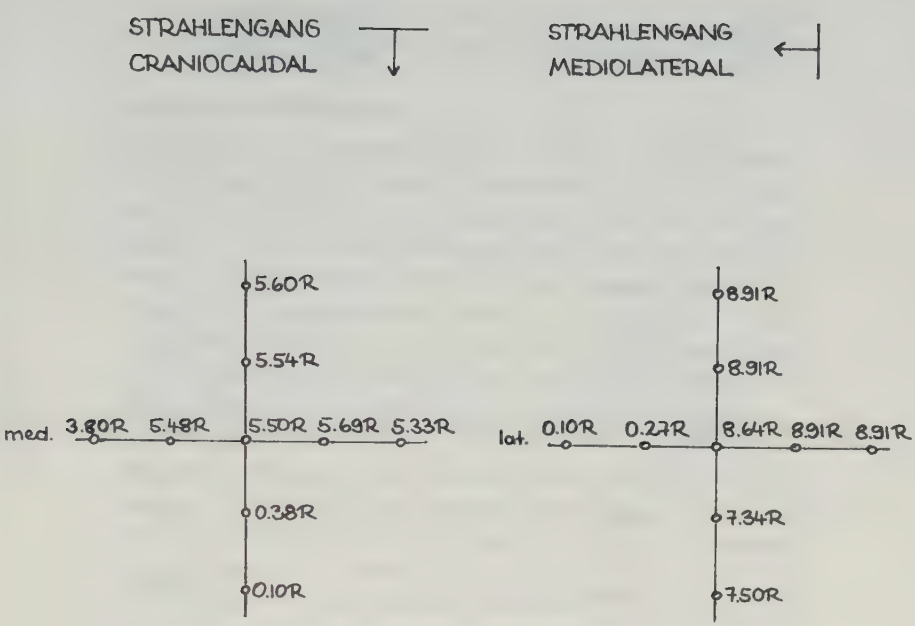
1. Am Phantom

Die Belichtungen der Mamma am Phantom wurden im kraniokaudalen und seitlichen Strahlengang durchgeführt. Die Ergebnisse der Messungen zeigen die Darstellung 4 + 5. Auffallend ist, daß die Strahlendosen bei allen Profilaufnahmen etwas höher liegen als bei den kraniokaudalen Aufnahmen. Dies ist sicher auf die Aufnahmetechnik zurückzuführen, weil die Meßkammer der Belichtungsautomatik hierbei sich z.T. unter der Thoraxwand befand.
Die höchste Dosis betrug im kraniokaudalen Strahlengang 8 R (25 kV) bzw. 6 R (29 kV), im seitlichen Strahlengang 9,7 R (25 kV), bzw. 8,9 R (29 kV).

Die Belastung der Mamille war im Vergleich zu der dem Tubus zugewandten Brustoberfläche etwas geringer, wohl durch den geringeren Streuzusatz bedingt. Als höchste Dosis ergaben sich in der Mamillengegend 8,6 R bei seitlicher Aufnahme und 29 kV.

2. "Gonadendosis" und "Augendosis"

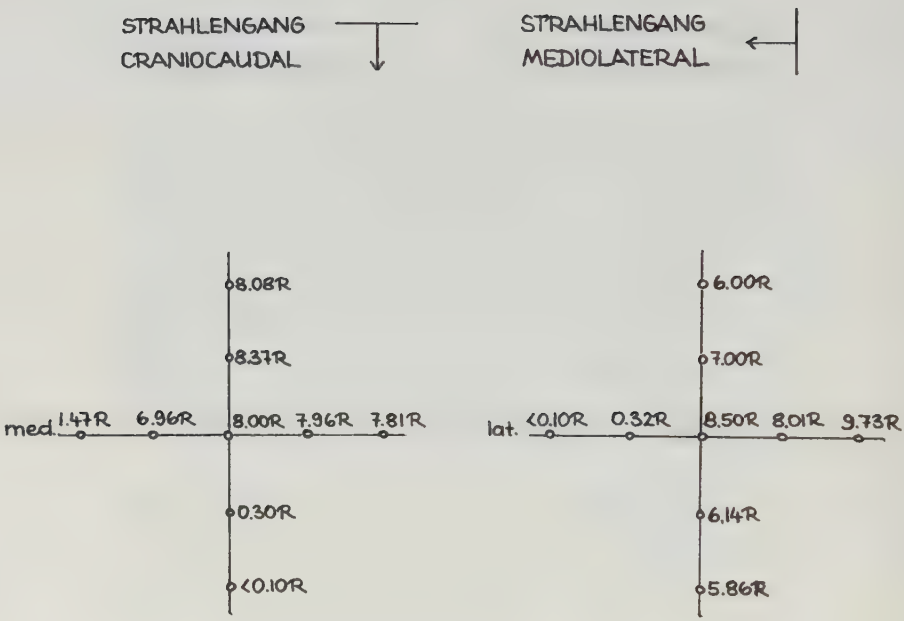
Gleichzeitig mit der Dosismessung an der Mamma wurde die Belastung in der Gegend der Gonaden und des Auges bei einer Röntgenaufnahme der Mamma ermittelt. Die Messung erfolgte nur bei der kraniokaudalen Aufnahme. Die bei der Mammographie gemessene "Gonadendosis" variierte je nach Spannung zwischen 0,01 - 0,015 mR pro Aufnahme. Die gemessene "Augendosis" lag je nach Spannung zwischen 0,4 mR und 0,5 mR. Die Dosis am Auge ist bei der Mammographie an der Patientin sicher noch geringer, da die Patientin den Kopf bei der Aufnahme zur Seite dreht. Die hier gemessene "Augendosis" würde etwa dem lateralen Augenwinkel entsprechen. Bei einer Weiterführung der Untersuchungen zur Dosisbelastung der Mammographie wäre zu prüfen, ob es sich dabei um eine Streustrahlung von der Mamma handelt,



FELDGRÖSSE 20 x 12,5 cm
STRAHLENQUALITÄT 29 kV

Abb. 4

Dosis an den Messpunkten in R
(Mittelwerte)



FELDGRÖSSE 20 x 12,5 cm
STRAHLENQUALITÄT 25 kV

Abb. 5

Dosis an den Messpunkten in R
(Mittelwerte)

oder um nicht völlig abgeschirmte Strahlung von der Röhrenhaube. Vermutlich wird letzteres der Fall sein, da die Streuung bei dieser niederenergetischen Strahlung klein ist.

3. Schichtdickenabhängigkeit

Die Beurteilung der Abhängigkeit der Dosis von der Mammadicke wurde im Modellversuch durchgeführt. Um die Abhängigkeit der Dosis von der Schichtdicke zu prüfen, wurden zwischen Tubus und Amplimat-Meßkammer zehn Schichten aus Plexiglas[x)] (die Dicke einer Schicht betrug jeweils 1 cm) gebracht. Die Oberflächendosis wurde jeweils mit der Ionisationskammer bestimmt. Der Versuch wurde bei Spannungen von 29 und 25 kV durchgeführt. Aus der Abbildung 6 kann die Abhängigkeit der Oberflächendosis von der Schichtdicke ersehen werden.
Bei einer Reduzierung der Plexiglasdicke von zehn auf sieben cm kann man bei einer Spannung von 29 kV eine Verringerung der Oberflächendosis von rund 5,7 R auf 1,9 R beobachten. Der Abfall der Belastung von 6 cm bis zu 1 cm ist bei der gleichen Spannung wesentlich geringer (1,1 R - 0,3 R). Verwendet man bei dem gleichen Versuchsaufbau eine Spannung von 25 kV, erhält man einen ähnlichen Abfall der Oberflächenbelastung. Nur ist in dem Spannungsbereich von 25 kV die Belastung um etwa den Faktor '2' größer.

Wie aus Abbildung 6 zu ersehen ist, liegt die Oberflächenbelastung bei gleicher Schichtdicke bei einer Spannung von 25 kV über der von 29 kV. Bei einer Verkleinerung der Röhrenspannung nimmt die Durchdringungsfähigkeit der Strahlung ab. Da der Amplimat, der mit der Mammographieröhre gekoppelt ist, erst bei einer für die jeweilige Spannung festgelegten Dosis abschaltet, vergrößert sich die Energie der auf einen cm^2 Fläche einfallenden Strahlung bei 25 kV gegenüber der von 29 kV. Der Kurvenverlauf gleicht etwa einer Exponentialfunk-

---

x) Die nicht völlige Gewebeäquivalenz von Plexiglas wurde für diesen Versuch vernachlässigt.

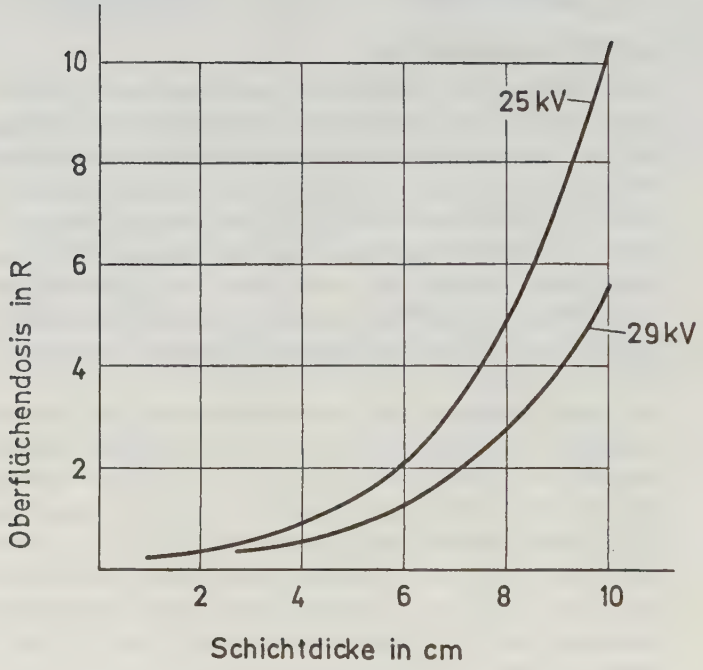


Abb. 6

Oberflächenbelastung in R in Abhängigkeit von der Schichtdicke und der Spannung

tion. Zur Erzielung der immer gleichen Austrittsdosis muß sich die Eintrittsdosis entsprechend ändern. Von Streuzusätzen abgesehen, wäre ein Zusammenhang der Eintrittsdosis D_o und der durchstrahlten Schicht d von

$$Do \sim e^{\mu d}$$

zu erwarten. μ bedeutet dabei den energieabhängigen linearen Schwächungskoeffizienten des Plexiglases.
Eine etwa exponentielle Abhängigkeit wird auch tatsächlich beobachtet.

4. Messergebnisse an Patientinnen

Um einen Vergleich der am Phantom gefundenen Messungen mit den in der Praxis zu erwartenden Belastungen zu haben, wurden in einem weiteren Versuch Dosismessungen an Patientinnen vorgenommen. Bei den untersuchten Personen handelte es sich um 6 Frauen im Alter zwischen 47 und 67 Jahren.

Die Mammographien wurden im kraniokaudalen und seitlichen Strahlengang angefertigt. Die Aufnahmen wurden mit einem großen Tubus gemacht. Es wurden drei Dosimeter mit Tesafilm an der Brust befestigt. Gemessen wurde die Strahlenbelastung der Mamille, am Übergang Brust zur oberen Thoraxwand und Brust sternale Thoraxwand. Die Patientinnen wurden jeweils bei einer Spannung von 29 kV und 25 kV mammographiert. Es wurde nur die Eigenkompression der Mamma ausgenützt.
Vergleicht man die am Phantom erhaltenen Werte mit den Messungen an den Patientinnen, so erkennt man, daß die Belastung bei einer Spannung von 25 kV ebenfalls etwas größer ist als bei 29 kV. Die höchste gemessene durchschnittliche Belastung betrug 10 R im seitlichen Strahlengang bei einer Spannung von 29 kV. Im kraniokaudalen Strahlengang erhielt man bei 29 kV die kleinste durchschnittlich gemessene Dosis von 5 R.
Einige am Patienten erhaltene Meßwerte sind kleiner als die am Phantom gemessenen Belastungen, was auf die geringere Schichtdicke bei diesen Mammae zurückzuführen ist.

Bei Messungen am Phantom ist zwar jeder Punkt zugänglich, gewisse Fehler aber, die sich aus dem unterschiedlichen Absorptionsverhalten verschiedener Gewebe ergeben, werden den Phantommessungen immer anhaften (WACHSMANN und KALLERT). Aus diesem Grund ist auch die höhere Mamillenbelastung bei den Patientinnen zu verstehen. Errechnet man aus den einzelnen am Patienten erhaltenen Meßwerten der Dosisbelastung die durchschnittliche Belastung und vergleicht diese mit den entsprechenden Phantomwerten, so erkennt man, daß die Werte in der gleichen Größenordnung liegen.

IV. DISKUSSION

Berichte über die Erfahrungen von Reihenuntersuchungen in Zeiträumen von einem Jahr (STENVENS, LANYI, LASZOLO, FARKAS - Dauer 2 Jahre) bis zu 10 Jahren (GERSHON und COHEN), die an denselben Frauen vorgenommen wurden, zeigen, welche Bedeutung die Mammographie als Reihenuntersuchung in der Tumorvorsorge haben kann. Die Einführung einer Screeningmethode, wie dies heute bei Lungenuntersuchungen üblich ist, scheint man auch für die weibliche Brust nach den bisher vorliegenden Arbeiten befürworten zu können.

SHAPIRO und STRASE erachten es auf Grund der Ergebnisse ihrer Fünfjahresstudie in New York an 31000 Frauen als notwendig, ein Screeningprogramm auf breiter Basis durchzuführen. Soll aber die Mammographie ihrer Aufgabe der Krebsvorsorge voll gerecht werden, so muß man sie routinemäßig, möglichst ohne Gefahr für die zu untersuchende Frau, anwenden können. Screening der Mamma würde heißen, daß möglichst viele Frauen über einen langen Zeitraum sich etwa jährlich einmal untersuchen lassen sollten. Da sich die Frauen während des Untersuchungszeitraumes teilweise im fortpflanzungsfähigen Alter befinden, ist die dabei auftretende Gonadenbelastung von großem Interesse.

Als Maß für die genetische Wirksamheit der Strahlung führte MULLER die sogenannte Mutations-Verdoppelungsdosis ein.

Durch die Verdoppelungsdosis wird die gleiche Zahl von Mutationen induziert, die spontan in einer Generation entstehen. Unter der Einwirkung ionisierender Strahlen auf die Keimzelle erhöht sich die Mutationsfähigkeit. In genetischer Hinsicht wird auch die Wirkung kleinster Einzeldosen summiert. Es besteht eine lineare Beziehung zwischen der verabfolgten Gesamtstrahlendosis und der Häufigkeit der Genmutation. Die geschätzten Strahlendosen, die nötig sind, um beim Menschen die Spontanmutationsrate zu verdoppeln, schwanken vor allem wegen der Unsicherheit des Wertes der spontanen Mutationsrate etwa um eine Größenordnung. Der überwiegende Teil aller Mutationen ist rezessiv. Somit hängt die Manifestation der genetischen Strahlenwirkung von der Gesamtstrahlenbelastung ab, der die Keimdrüsen der Gesamtbevölkerung eines geschlossenen Populationsraumes bis zum jeweiligen Ende der Zeugungsperiode unterworfen sind.

Vom genetischen Standpunkt aus könnte die Strahlenbelastung eines einzelnen Individuums oder einer Personengruppe höher sein, wenn die übrige Bevölkerung im Durchschnitt entsprechend geringer belastet wird. Auf Grund unserer derzeitigen Kenntnisse empfiehlt es sich, die durchschnittliche Strahlenbelastung pro Kopf der gesamten Bevölkerung bis zum Ende der Fortpflanzungsperiode jeden Individuums so niedrig wie möglich zu halten und eine durchschnittliche Gesamtdosis von 20 R pro Person nicht zu überschreiten.

Die bei der Mammographie auftretende Belastung der Haut von maximal 10 R und der Mammamitte von etwa 1 R pro Aufnahme liegt weit unter der Grenze, die zu bekannten somatischen Schädigungen führt, so daß auch von diesem Gesichtspunkt aus keine Gegenindikation für Routineuntersuchungen abgeleitet werden kann.
Wegen ihrer hohen Strahlenempfindlichkeit wurde die Augen-

linse in die Untersuchung mit einbezogen (Augenlinse als biologisches Dosimeter). Aus Untersuchungen von RAJEWSKY geht hervor, daß Linsentrübungen nach Dosen von 400 R eintreten.

In der Gegend der Gonaden und der Augen wurden weniger als 1 m R pro Aufnahme gemessen. Damit ist auch gegen z.B. jährliche wiederholte Röntgenuntersuchungen der Brustdrüsen vom Gesichtspunkt der Strahlenbelastung nichts einzuwenden.

Wie aus den Versuchen am Plexiglasphantom hervorgeht, steigt die Kurve der Oberflächenbelastung ab einer Schichtdicke von 6 cm stark an.

Bei Verwendung eines Kompressionstubus kann in den meisten Fällen auch bei großen Mammae die durchstrahlte Schicht auf etwa 6 cm herabgesetzt werden. Dies konnte an unserer Klinik jetzt am neuen Mammographiegerät festgestellt werden. Bei den meisten Patientinnen liegt die Dicke der Mamma nach Kompression noch unter 6 cm. Entsprechend der Ergebnisse am Plexiglasphantom ergäbe sich dann bei den in dieser Arbeit vorliegenden Versuchsbedingungen eine Belastung der Haut an umschriebener Stelle der Mamma von 5 R und weniger je Aufnahme.

Wie hoch die tatsächliche Belastung am neuen Mammographiegerät ist, soll durch zusätzliche Messungen festgestellt werden.

V. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit sollte untersucht werden, wie groß die Strahlenbelastung bei Mammographien ist und ob auf Grund der gefundenen Dosisgröße z.B. jährliche Vorsorgeuntersuchungen zu vertreten sind. Die Versuchsmessungen wurden an einem Alderson-Rondo-Man-Phantom und an 6 Patientinnen vorgenommen. Außer der Hautbelastung wurde die Dosis in der Gegend der Gonaden und der Augen ermittelt.

In einem weiteren Versuch wurden an einem Plexiglasphantom die Zusammenhänge zwischen der Dicke der durchstrahlten Schicht, der Strahlenqualität und der Oberflächenbelastung

festgestellt.
Die bei einer Mammographieaufnahme ohne Verwendung eines Kompressionstubus am Phantom und bei Patientinnen auftretende Belastung einzelner Oberflächenpartien lag bei maximal 10 R (Dicke der durchstrahlten Masse z.T. über 12 cm). Die gemessene Dosis in der Gegend der Gonaden betrug bei kraniokaudaler Aufnahmerichtung je nach Spannung zwischen 0,01 - 0,015 mR pro Aufnahme. Die gemessene Augendosis belief sich je nach Spannung und Aufnahmerichtung sowie Lage der Augenpartie zur Röntgenröhre auf 0,4 mR bis 0,5 mR.

Die gemessenen Werte lassen routinemäßige Vorsorgeuntersuchungen auch bei Frauen im fortpflanungsfähigen Alter als unbedenklich erscheinen.

LITERATURVERZEICHNIS

Adam, W.E.
Wachsmann, F.
Die Dosimetrie in der strahlentherapeutischen Praxis, Radiologe 4 (1964) 246

Barrett, B.J.
Egan, R.L.
Palmer, R.C.
Preliminary Evaluation of Absorbed Mammography, Radiology 95, (1971) 395

Barth, G.
Becker, J.
Kraus, R.
Scherer, K.
Klinische Radiologie, F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart, New York, 1968

Buttenberg, D.
Werner, K.
Die Mammographie, F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart

Claus, H.D.
Gräfe, R.
Grundlagen der Strahlenkunde für medizinische Berufe, Verlag Theodor Steinkopf, Dresden, 1966

Gilbertson, J.D.
Randall, M.G.
Fingerhut, A.G.
Evaluation of Roentgen Exposure in Mammography, Part I: Six Views, Radiology 95, (1970) 383

Graul, E.H.
Hess, F.
Kuni, H.
Stockhausen, J.
Strahlenschutzfibel, Deutscher Ärzteverlag, 1968

Griesbach, W.A.
Screening for Breast Carcinoma, Mammography Symp., San Francisco, 1968, Oncology 23, (1969) 167

Kaplan, W.
Ärztliche Mitteilungen, Heft 13, (1965) 726
Nutzen und Schaden der Röntgen-Reihenuntersuchung

Rajewsky, B.
Strahlendosis und Strahlenwirkung, Thieme Verlag, Stuttgart, 1956

Scherer, E.
Seifert, J.
Die Bedeutung der Mammographie als Reihenuntersuchung in der Tumorvorsorge, Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuclearmedizin, 109 (1968) 766

Siegenthaler, W.
Klinische Pathophysiologie, Thieme Verlag, Stuttgart, 1971

Herrn Prof. Dr. J. Weishaar möchte ich für die Überlassung des Themas, für die Unterstützung bei der Arbeit und für die Übernahme des Referates danken.

Weiter danke ich Herrn Dipl. Phys. Dr. Th. Schmidt für die hilfreiche Unterstützung meiner Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Dr. H. Pauly danke ich für die Überlassung von Phantom und Geräten.

Herrn Prof. Dr. K.G. Ober habe ich für die Übernahme des Referates zu danken.

LEBENSLAUF

Am 18. Februar 1941 wurde ich als einziges Kind des kaufmännischen Angestellten Otto Kupka und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Jirasek, in Parschnitz/Kreis Trautenau geboren. 1945 wurden wir dort ausgesiedelt.

Im Herbst 1947 wurde ich eingeschult und bestand Ostern 1962 die Reifeprüfung am Realgymnasium in Langen. Anschließend immatrikulierte ich mich an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt.

Im Sommersemester 1962 begann ich mit dem Studium der Medizin und bestand im Oktober 1963 die naturwissenschaftliche Vorprüfung. Vom Wintersemester 1964/65 bis Sommersemester 1966 unterbrach ich mein Studium aus familiären Gründen. Im September 1966 bestand ich die ärztliche Vorprüfung. Nach sieben klinischen Semestern, vom Wintersemester 1966/67 bis zum Wintersemester 1969/70, bestand ich am 29. Juli 1970 die ärztliche Prüfung.

In der Zeit vom 1.9.71 bis Ende November 1971 arbeitete ich als Medizinalassistent an der chirurgischen Abteilung des Dreieich-Krankenhauses in Langen, an der Universitäts-Frauenklinik in Erlangen und an der IV. Medizinischen Klinik in Nürnberg. Zur Zeit bin ich an der Universitäts-Frauenklinik Erlangen als Assistenzarzt angestellt.

Offsetdruck-Fotodruck
J. Hogl, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109 (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel.22990